

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
22 janvier 2004 (22.01.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/008477 A2**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : **H01J 37/32**

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2003/002156

(22) Date de dépôt international : 10 juillet 2003 (10.07.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
02/08728 11 juillet 2002 (11.07.2002) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **ALCA-TEL** [FR/FR]; 54, rue La Boétie, F-75008 Paris (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **PUECH, Michel** [FR/FR]; 9, chemin du Bois Bernard, F-74370 Metz Tassy (FR).

(74) Mandataire : **PONCET, Jean-François**; Cabinet Poncet, 7, chemin de Tillier, B.P. 317, F-74008 Annecy Cédex (FR).

(81) États désignés (national) : JP, US.

(84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

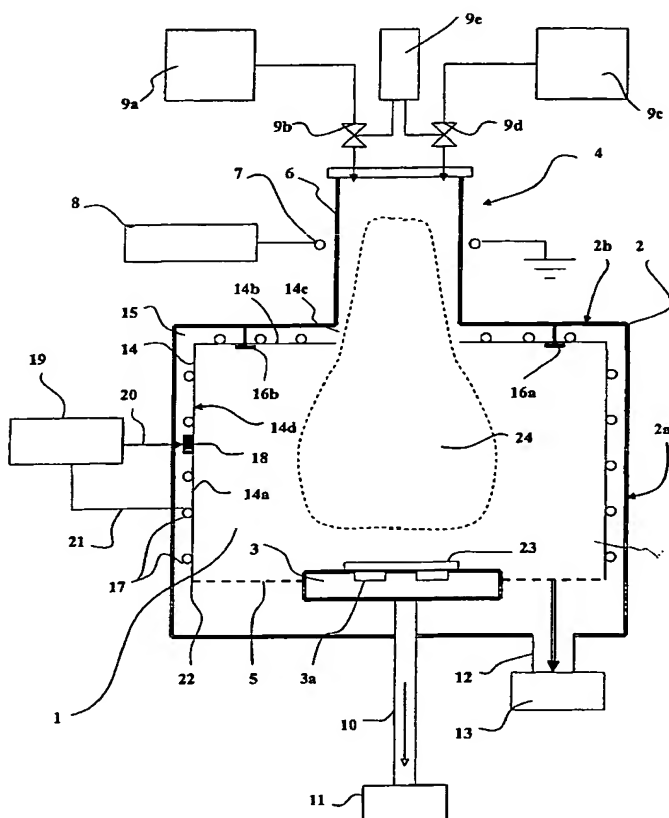
Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: HEATING JACKET FOR PLASMA ETCHING REACTOR, AND ETCHING METHOD USING SAME

(54) Titre : CHAMISAGE CHAUFFANT POUR REACTEUR DE GRAVURE PLASMA, ET PROCEDE DE GRAVURE POUR SA MISE EN OEUVRE



(57) Abstract: The invention concerns a reactor wherein the reaction chamber (1) is delimited by a sealed wall (2) protected by a heating jacket (14). The heating jacket (14) is brought to a temperature higher than the polymer condensation temperature generated during the passivation steps of an alternating plasma etching process, so as to prevent polymer deposition on the sealed wall (2) of the reaction chamber (1) and on the heating jacket itself (14), thereby maintaining a constant etching speed.

(57) Abrégé : Dans un réacteur selon l'invention, la chambre de réaction (1) est limitée par une paroi étanche (2) protégée par une chemise chauffante (14). La chemise chauffante (14) est portée à une température supérieure à la température de condensation des polymères générée pendant les étapes de passivation d'un procédé alterné de gravure par plasma, de sorte que l'on évite le dépôt de polymère sur la paroi étanche (2) de la chambre de réaction (1) et sur la chemise chauffante (14) elle-même. Il en résulte un maintien constant de la vitesse de gravure.



**Publiée :**

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

CHEMISAGE CHAUFFANT POUR REACTEUR DE GRAVURE PLASMA,  
ET PROCEDE DE GRAVURE POUR SA MISE EN ŒUVRE

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 La présente invention concerne les réacteurs de gravure plasma, et en particulier les réacteurs utilisés pour la mise en œuvre de procédés de micro-usinage ou de gravure anisotrope d'un substrat en silicium par plasma suivant le procédé alterné décrit dans le document US-A-5,501,893.

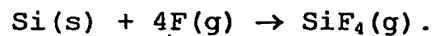
10 Durant un tel procédé alterné, on alterne des étapes de gravure d'un substrat par un plasma de gaz fluoré de gravure tel que le  $\text{SF}_6$ , et des étapes de passivation des surfaces grâce à un plasma de gaz de passivation  $\text{C}_x\text{F}_y$  tel que le  $\text{C}_4\text{F}_8$  par exemple.

15 Les étapes du procédé sont réalisées sous une atmosphère à faible pression, permettant l'établissement et le maintien d'un plasma.

Pendant l'étape de gravure par plasma de gaz fluoré de gravure, le substrat est attaqué de manière isotrope par les atomes de fluor. Les étapes de passivation par plasma de gaz de passivation  $\text{C}_x\text{F}_y$  tel que le  $\text{C}_4\text{F}_8$  permettent de déposer un film de polymère sur toutes les surfaces du substrat exposées au plasma. Les surfaces verticales et les surfaces horizontales sont ainsi recouvertes. Au cours de l'étape suivante de gravure par plasma de gaz fluoré de gravure, et sous l'action conjuguée du bombardement ionique vertical obtenu par la polarisation négative du substrat, le film de polymère est pulvérisé et enlevé sur les surfaces horizontales, et la gravure verticale du substrat peut se poursuivre, alors que le polymère restant sur les surfaces verticales s'oppose momentanément à l'action du plasma sur lesdites surfaces verticales. En répétant ainsi les étapes de gravure avec un plasma de gaz fluoré de gravure et les étapes de passivation avec un plasma de gaz de passivation  $\text{C}_x\text{F}_y$ , on obtient une gravure anisotrope du substrat.

30 Le mécanisme de gravure du substrat par le plasma de gaz fluoré de gravure est le suivant : on génère un plasma contenant des électrons, des ions tels que  $\text{SF}_5^+$ , et des atomes de fluor F. Les atomes de fluor arrivant à la surface du substrat réagissent

chimiquement, par exemple dans le cas d'un substrat en silicium, selon la réaction :



Les produits de réaction tels que  $\text{SiF}_4$  et les molécules de  $\text{SF}_6$  non dissociées ainsi que les radicaux  $\text{SxFy}$  restent sous forme gazeuse et sont évacués par le pompage.

Pendant l'étape de passivation des surfaces au moyen d'un plasma de gaz de passivation  $\text{C}_4\text{F}_8$ , par exemple des surfaces d'un substrat en silicium, on génère un plasma contenant des électrons, des ions et des radicaux de type  $\text{CF}$ ,  $\text{CF}_2$ ,... etc. Ces radicaux ou monomères vont se lier les uns aux autres pour former des chaînes de polymère  $[-\text{CF}-]_n$  ou  $[-\text{CF}_2-]_n$ . Ces polymères se condensent sur toutes les surfaces exposées au plasma et les recouvrent d'un film de polymère. Ces surfaces sont bien sûr les surfaces du substrat de silicium en cours de gravure, mais également toutes les surfaces internes de la chambre de réaction.

Au cours de l'étape suivante de gravure par plasma de gaz fluoré de gravure, les surfaces soumises au bombardement ionique, sous l'effet de la polarisation négative, sont débarrassées du film de polymère. Ceci est notamment le cas pour les surfaces horizontales du substrat de silicium, qui pourront ensuite être gravées par les atomes de fluor atomique  $\text{F}$ . C'est aussi le cas pour toutes les surfaces autres que le substrat qui sont soumises au bombardement.

Un problème des procédés alternés de gravure anisotrope selon le brevet US-A-5,501,893 est que la vitesse de gravure décroît progressivement dans le temps, de façon sensiblement linéaire, comme illustré sur la figure 1. Ainsi, partant à l'instant 0 d'une vitesse de gravure de 10 microns par minute, la vitesse diminue progressivement pour atteindre 6 microns par minute après 12 heures de fonctionnement, dans un exemple de fonctionnement d'un réacteur donné et dans des conditions de génération de plasma maintenues constantes.

#### EXPOSE DE L'INVENTION

Le but de l'invention est d'éviter une telle dérive négative des performances de gravure d'un équipement de gravure

anisotrope de silicium par un procédé alterné de gravure anisotrope selon le brevet US-A-5,501,893.

L'invention résulte de l'analyse approfondie des phénomènes apparaissant lors des étapes de passivation et de gravure selon le procédé alterné, et conduit à expliquer cette  
5 dérive négative par le processus suivant : pendant les étapes de passivation, toutes les parties de la chambre de réaction se recouvrent progressivement d'un film de polymère. Ce film n'est pas enlevé au cours des étapes de gravure lorsque les surfaces de la  
10 chambre de réaction sont reliées à un potentiel faible, par exemple à la masse électrique. Du fait du faible potentiel, les surfaces réceptrices correspondantes de la chambre de réaction ne sont pas soumises au bombardement ionique, et conservent ainsi un film de polymère similaire à celui recouvrant les surfaces du substrat à  
15 graver. Au cours du temps, ce film s'épaissit.

Bien que non soumis au bombardement ionique, le film de polymère déposé sur les surfaces réceptrices reliées au potentiel de masse est soumis à un léger flux d'ions et d'électrons d'énergie égal à  $E = V_p - 0$  dans laquelle  $V_p$  représente le potentiel plasma  
20 positif.

En général,  $V_p$  est de l'ordre de la dizaine de volts, typiquement de 15 à 25 volts par rapport à la masse. Cette énergie est insuffisante pour éliminer par pulvérisation le film de polymère, mais elle est suffisante pour échauffer les parois et  
25 donc le film de polymère à des températures de l'ordre de 40 à 60°C.

Dans un premier temps, lorsque le réacteur est froid et propre, c'est-à-dire exempt de dépôt de polymère de type  $[-CF-]_n$  ou  $[-CF_2-]_n$ , la vitesse de gravure du silicium est optimale c'est-à-  
30 dire maximale. Ensuite, au fur et à mesure de la gravure du substrat, le film de polymère condensé sur les surfaces réceptrices des parois non soumises au bombardement ionique intentionnel va croître et s'épaissir. En même temps, il va s'échauffer sous l'effet du flux de particules d'énergie  $V_p$ .

35 En s'échauffant, ce film libère par vaporisation partielle des molécules de type  $C_xF_y$ . Ces molécules se retrouvent dans la phase gazeuse, s'additionnant aux molécules de  $C_4F_8$

intentionnellement introduites par les débitmètres de masse. Ces molécules se déposent ensuite sur les surfaces du substrat, entraînant une augmentation incontrôlée de la passivation des surfaces horizontales de silicium au cours des étapes de passivation. Au cours de l'étape de gravure qui suit, la passivation en excès augmente la durée nécessaire pour détruire le polymère et commencer le processus de gravure des surfaces horizontales. Il en résulte une diminution de la vitesse globale de gravure.

L'idée qui est à la base de l'invention est d'empêcher dès l'origine, lors d'un procédé alterné de gravure, la formation des dépôts de film de polymère condensés sur les surfaces réceptrices des parois de chambre de réaction non soumises au bombardement ionique, en portant les surfaces réceptrices à une température suffisante pour assurer la volatilisation de tout dépôt éventuel de polymère.

Simultanément, l'invention vise à réaliser cette élévation de température sans dépense excessive d'énergie, et sans risque de blessure du personnel d'intervention circulant autour des réacteurs.

On a déjà proposé, dans le document US 5,788,799, de réduire la formation de dépôts sur les parois d'un réacteur de dépôt en prévoyant une chemise chauffante en céramique interposée entre le plasma et certaines parties de paroi du réacteur. Les seuls procédés décrits sont des procédés de dépôt, et les céramiques choisies comprennent des oxydes, nitrures ou carbures de bore, d'aluminium, de silicium, de titane, de zirconium, de chrome.

Les solutions décrites ne seraient pas adaptées à un réacteur de gravure, pour diverses raisons et notamment : contamination du substrat à graver, baisse de rendement de gravure.

Pour cela, un réacteur de gravure plasma selon l'invention, comprenant une chambre de réaction entourée d'une paroi étanche, contenant des moyens supports de substrat, et communiquant avec une source de plasma, comprend en outre une chemise chauffante en un métal ou alliage adapté recouvrant intérieurement de façon non étanche tout ou partie de la paroi étanche de chambre de réaction, et un espace intermédiaire

d'isolation thermique prévu entre la chemise chauffante et la paroi étanche de chambre de réaction.

De la sorte, la chemise chauffante présente une température supérieure à celle produite par le seul rayonnement du plasma, et la température plus élevée de la chemise chauffante réduit la quantité de molécules de polymère déposée sur la chemise. Simultanément, la chemise chauffante constitue elle-même la surface réceptrice, et forme un écran empêchant le dépôt des polymères sur la paroi étanche elle-même de chambre de réaction. Et la chemise chauffante présente une structure qui évite toute contamination du substrat à graver et toute baisse de rendement du procédé de gravure.

Pour être compatible avec un procédé alterné de gravure, pouvant être utilisé notamment dans l'industrie microélectronique, pour graver des substrats semiconducteurs, le métal ou alliage adapté est de préférence choisi parmi les métaux ou alliages qui, d'une part ne réagissent pas avec les gaz fluorés de gravure et de passivation pour former des composés volatiles, et d'autre part ne génèrent pas une émission d'atomes contaminants sous l'effet du bombardement par le plasma. On évitera en particulier les métaux alcalins, le chrome, et les métaux lourds tels que le fer, le cuivre, le zinc. De bons résultats pourront être obtenus avec une chemise chauffante en aluminium ou en titane, l'aluminium étant préféré pour son faible coût et sa facilité de mise en œuvre.

Dans le cas d'un procédé alterné de gravure, le réacteur selon l'invention peut comprendre en outre :

- des moyens de polarisation des moyens supports de substrat, pour contrôler le bombardement de particules provenant du plasma,
- une source de gaz de gravure, et des moyens de commande de débit de gravure pour piloter l'introduction de gaz de gravure dans la source de plasma,
- une source de gaz de passivation, et des moyens de commande de débit de passivation pour piloter l'introduction de gaz de passivation dans la source de plasma,
- un dispositif de commande, adapté pour piloter de façon alternée les moyens de commande de débit de gravure et les moyens de commande de débit de passivation.

Selon un mode de réalisation avantageux, la chemise chauffante est fixée à la paroi étanche de la chambre de réaction par un nombre limité de points de fixation.

L'espace intermédiaire entre la chemise chauffante et la paroi étanche de la chambre de réaction peut avantageusement communiquer avec l'espace central de la chambre de réaction par un espace annulaire d'épaisseur réduite. La faible épaisseur évite la pénétration du plasma dans l'espace intermédiaire.

Les points de fixation ont de préférence une structure thermiquement isolante qui s'oppose au transfert d'énergie thermique par conduction depuis la chemise chauffante vers la paroi étanche de la chambre de réaction.

Les moyens chauffants de la chemise chauffante peuvent être de plusieurs types. Selon un premier mode de réalisation, la chemise chauffante est couplée thermiquement à des moyens d'échauffement tels que des résistances électriques connectables à une source extérieure d'énergie électrique.

Les résistances électriques peuvent par exemple comprendre des résistances électriques en couche mince, et/ou des résistances électriques de type thermoaxial.

En alternative, la chemise chauffante est sollicitée thermiquement par des moyens d'échauffement par rayonnement tels que des éléments infrarouges.

De préférence, la chemise chauffante est associée à des moyens de régulation thermique assurant la régulation de sa température dans une plage de valeurs de température appropriée.

En pratique, la chemise chauffante comprend avantageusement des moyens d'échauffement adaptés pour l'échauffer à une température supérieure à 150°C.

Un problème supplémentaire des réacteurs de gravure par plasma résulte de la présence d'une grille conductrice, limitant la chambre de réaction en aval des moyens supports de substrat. Cette grille a pour but de limiter la propagation du plasma, et de le confiner dans la chambre de réaction. Le problème est que cette grille tend à se boucher progressivement, par accumulation de particules de polymère.



L'invention résout ce problème en faisant en sorte que la grille conductrice soit en contact thermique avec la chemise chauffante. Il apparaît que l'élévation de température qui en résulte sur la grille évite son encrassement et la maintient en état de fonctionnement correct pendant une longue durée.

En outre, la présence de la chemise chauffante dans la chambre de réaction produit un effet avantageux sur les moyens de maintien d'un substrat sur le support de substrat : un mode de réalisation avantageux de tels moyens supports de substrat comprend des électrodes d'attraction électrostatique de substrat. Dans les réacteurs connus, ces électrodes se recouvrent assez rapidement de polymère, et leur efficacité décroît rapidement dans le temps.

L'invention réduit très fortement ce problème, car les électrodes d'attraction électrostatique de substrat restent avec une propreté suffisante pour un fonctionnement correct des électrodes pendant une longue durée, apparemment parce que les électrodes ne se chargent plus de polymère.

Selon un autre aspect de l'invention, on prévoit un procédé de gravure de substrat par plasma dans un réacteur tel que défini ci-dessus, le procédé comprenant une alternance d'étapes de gravure du substrat par un plasma de gaz de gravure fluoré et d'étapes de passivation des surfaces par un plasma de gaz de passivation  $C_xF_y$ , et au moins pendant les étapes de passivation, on chauffe la chemise chauffante à une température supérieure à la température de condensation des polymères générés par le plasma de passivation.

Selon un mode de réalisation avantageux, on chauffe la chemise chauffante en continu pendant toutes les étapes du procédé.

#### DESCRIPTION SOMMAIRE DES DESSINS

D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description suivante de modes de réalisation particuliers, faite en relation avec les figures jointes, parmi lesquelles:

- la figure 1 illustre l'évolution négative de la vitesse de gravure dans les réacteurs connus ;
- la figure 2 est une représentation schématique d'un réacteur selon un mode de réalisation de la présente invention ; et

- la figure 3 est une vue de dessous illustrant la surface inférieure de la paroi supérieure de la chemise chauffante.

#### DESCRIPTION DES MODES DE REALISATION PREFERES

Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 2, un réacteur de gravure plasma comprend une chambre de réaction 1 entourée d'une paroi étanche 2 contenant des moyens supports de substrat 3 et communiquant avec une source de plasma 4.

La paroi étanche 2 de la chambre de réaction 1 comprend par exemple une portion périphérique 2a qui se raccorde à une portion frontale d'entrée 2b elle-même ouverte pour communiquer avec un tube d'entrée 6 constituant la source de plasma 4. La portion périphérique 2a et la portion frontale d'entrée 2b sont des portions métalliques, avantageusement connectées au potentiel de la masse. Le tube d'entrée 6 est en matériau diélectrique, et est entouré d'une électrode de couplage 7 alimentée en courant électrique alternatif à fréquence radio par un générateur radiofréquence 8.

Une source de gaz de gravure 9a et des moyens de commande de débit de gravure 9b tels qu'une électrovanne permettent de piloter l'introduction de gaz de gravure à l'extrémité du tube d'entrée 6, dans la source de plasma 4. De même, une source de gaz de passivation 9c et des moyens de commande de débit de passivation 9d tels qu'une électrovanne permettent de piloter l'introduction de gaz de passivation à l'extrémité du tube d'entrée 6, dans la source de plasma 4. Un dispositif de commande 9e pilote de façon alternée les moyens de commande de débit de gravure 9b et les moyens de commande de débit de passivation 9c.

L'électrode de couplage 7 excite les gaz dans le tube d'entrée 6 pour produire un plasma qui se déplace ensuite vers l'intérieur de la chambre de réaction 1 en direction des moyens supports de substrat 3.

Pour contrôler le bombardement de particules provenant du plasma, les moyens supports de substrat 3 sont polarisés par un générateur radiofréquence 11 auquel ils sont connectés par une ligne de polarisation 10.

La chambre de réaction 1 est raccordée par une ligne de pompage 12 à moyen de pompage 13 permettant d'établir et de

maintenir dans la chambre de réaction 1 une pression gazeuse faible et contrôlée, compatible avec la production d'un plasma.

En aval des moyens supports de substrat 3, la chambre de réaction 1 est limitée par une grille 5 conductrice également connectée au potentiel de la masse, et dont la maille est en rapport avec la densité ionique du plasma.

Le réacteur de la figure 2 comprend en outre une chemise chauffante 14 recouvrant intérieurement toutes les portions de la paroi étanche 2 qui sont au potentiel de la masse et qui sont au contact du plasma. Ainsi, la chemise chauffante 14 comprend une paroi périphérique 14a qui recouvre la portion périphérique 2a, et comprend une paroi supérieure 14b qui recouvre la portion frontale d'entrée 2b. La chemise chauffante 14 est une paroi en un métal adapté, elle-même connectée au potentiel de la masse, et associée à des moyens d'échauffement tels que des résistances électriques 17 ou autres. Des moyens d'isolation thermique sont interposés entre la chemise chauffante 14 et la paroi étanche 2 de la chambre de réaction 1.

Dans la réalisation illustrée, les moyens d'isolation thermique sont constitués d'un espace intermédiaire 15, d'épaisseur appropriée, par exemple de l'ordre de 0,5 à 1 mm environ, entre la chemise chauffante 14 et la paroi étanche 2 de la chambre de réaction 1. Placé à l'intérieur de la chambre de réaction 1, et communiquant avec l'espace intérieur de la chambre de réaction par un espace annulaire 14c d'épaisseur réduite, par exemple de même épaisseur que l'espace intermédiaire 15, l'espace intermédiaire 15 contient une atmosphère à très faible pression, et présentant donc de bonnes propriétés d'isolation thermique. Simultanément, la chemise chauffante 14 est fixée à la paroi étanche 2 de la chambre de réaction 1 par un nombre limité de points de fixation, par exemple les trois points de fixation 16a, 16b et 16c illustrés sur les figures 2 et 3.

Les points de fixation 16a, 16b et 16c ont une structure thermiquement isolante, qui s'oppose encore au transfert d'énergie thermique par conduction depuis la chemise chauffante 14 vers la paroi étanche 2 de la chambre de réaction 1.

Dans la réalisation simple et efficace illustrée sur les figures 2 et 3, la chemise chauffante 14 est suspendue à la paroi étanche 2 de la chambre de réaction 1 par des points de fixation 16a, 16b et 16c constitués chacun d'une excroissance à tête, dépassant en sous face de la paroi étanche 2, et engagée dans une lumière respective 26a, 26b et 26c de la paroi supérieure 14b de la chemise chauffante 14. Les lumières 26a, 26b et 26c sont de type boutonnière à portion large de passage de tête et à portion étroite de retenue de tête, comme illustré sur la figure 3.

De préférence, la surface interne 14d de la chemise chauffante 14 est structurée de façon à présenter un faible coefficient d'émission de rayonnement. De la sorte, on limite l'échauffement d'un substrat 23 placé sur les moyens supports de substrat 3, et on évite ainsi de perturber les étapes de gravure et de passivation.

Les résistances électriques 17 ou autres moyens d'échauffement de la chemise chauffante 14 sont alimentées par une ligne 21 pilotée par des moyens de régulation thermique comprenant un dispositif de commande 19 qui reçoit par une ligne 20 des informations de température de la chemise chauffante 14 prélevées par un capteur de température 18. Le dispositif de commande est conçu de façon à réguler la température de la chemise chauffante 14 et à la maintenir dans une plage de valeurs de température appropriée permettant d'éviter le dépôt de molécules de polymère  $[-CF-]_n$  ou  $[-CF_2-]_n$  sur la chemise chauffante 14.

On peut choisir la température de la chemise chauffante 14 en fonction du type de gaz  $C_xF_y$  utilisé, et donc en fonction du type de polymère déposé pendant les étapes de passivation.

En pratique, les moyens d'échauffement 17 sont adaptés pour échauffer la chemise chauffante 14 à une température supérieure à  $150^{\circ}C$ , suffisante pour éviter la condensation des polymères générés lors des étapes de passivation.

De préférence, la grille 5 conductrice est en contact thermique avec la chemise chauffante 14 dans une zone périphérique de contact 22. De la sorte, l'échauffement de la grille 5 conductrice évite son encrassement progressif et prolonge considérablement sa durée d'utilisation. L'échauffement de la

grille 5 conductrice par des moyens chauffants spécifiques constitue en lui-même une invention indépendante susceptible d'être appliquée à des réacteurs dépourvus de la chemise chauffante 14.

On a illustré schématiquement sur la figure 2 des moyens particuliers de tenue d'un substrat 23 sur les moyens supports de substrat 3 : ces moyens particuliers sont des électrodes électrostatiques 3a d'attraction de substrat, qui attirent le substrat 23 par attraction électrostatique. Il est nécessaire, dans ce cas, de maintenir une propreté satisfaisante des électrodes électrostatiques 3a, à défaut de quoi le substrat 23 n'est pas correctement tenu sur les moyens supports de substrat 3. L'adaptation de la chemise chauffante 14 et des moyens permettant de la chauffer de façon satisfaisante réduit considérablement l'encrassement des électrodes électrostatiques 3a, et permet d'augmenter également la durée de fonctionnement correct des électrodes pour un maintien satisfaisant du substrat 23.

Lors du fonctionnement, les moyens de pompage 12 et 13 maintiennent à l'intérieur de la chambre de réaction 1 une pression gazeuse faible appropriée. On introduit des gaz appropriés de gravure ou de passivation par les moyens de génération de gaz 9. L'alimentation de l'électrode de couplage 7 par le générateur RF 8 génère un plasma 24 dans le tube d'entrée 6, et le plasma 24 se propage dans la chambre de réaction 1 en direction du substrat 23 grâce à la polarisation du substrat 23 par le générateur radiofréquence 11. Simultanément, les résistances électriques 17 alimentées par la ligne 21 et le dispositif de commande 19 maintiennent la chemise chauffante 14 à une température appropriée évitant tout dépôt de polymère de passivation, et protégeant simultanément la paroi étanche 2 de la chambre de réaction 1. De la sorte, en fin d'étape de passivation, les molécules de monomère sont rapidement évacuées par les moyens de pompage 12 et 13, et l'introduction des gaz de gravure dans le tube d'entrée 6 provoque rapidement un effet de gravure sur le substrat 23, sans apparition de réduction progressive de vitesse de gravure.

Ainsi, un procédé de gravure de substrat 23 par un plasma 24 dans un réacteur selon la structure décrite précédemment comprend une alternance d'étapes de gravure du substrat 23 par un

plasma 24 de gaz de gravure fluoré et d'étapes de passivation des surfaces par un plasma 24 de gaz de passivation  $C_xF_y$ . Pendant ce procédé, on chauffe la chemise chauffante 14 à une température supérieure à la température de condensation du polymère de passivation généré par le plasma, au moins pendant les étapes de passivation.

Pour simplifier, on peut chauffer la chemise chauffante 14 en continu pendant toutes les étapes du procédé.

Grâce aux moyens d'isolation thermique 15 interposés entre la chemise chauffante 14 et la paroi étanche 2 de la chambre de réaction 1, on limite la puissance électrique nécessaire pour maintenir la chemise chauffante 14 à la température désirée, et on évite de chauffer inutilement la paroi étanche 2 de la chambre de réaction 1. Il en résulte que la température externe de la paroi étanche 2 reste compatible avec les exigences de sécurité, c'est-à-dire que cette température est supportable et le personnel d'intervention au cours de l'utilisation peut toucher la paroi sans risque de brûlure.

La présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui ont été explicitement décrits, mais elle en inclut les diverses variantes et généralisations qui sont à la portée de l'homme du métier.

REVENDEICATIONS

1 - Réacteur de gravure plasma, comprenant une chambre de réaction (1) entourée d'une paroi étanche (2), contenant des moyens supports de substrat (3), et communiquant avec une source de plasma (4), caractérisé en ce qu'il comprend en outre une chemise chauffante (14) en un métal ou alliage adapté recouvrant intérieurement de façon non étanche tout ou partie de la paroi étanche (2) de la chambre de réaction (1), et un espace intermédiaire d'isolation thermique (15) prévu entre la chemise chauffante (14) et la paroi étanche (2) de la chambre de réaction (1).

2 - Réacteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le métal ou alliage adapté est choisi parmi les métaux ou alliages qui d'une part ne réagissent pas avec les gaz fluorés de gravure et de passivation pour former des composés volatiles, et d'autre part ne génèrent pas une émission d'atomes contaminants sous l'effet du bombardement par le plasma.

3 - Réacteur selon la revendication 2, caractérisé en ce que le métal adapté est l'aluminium ou le titane.

4 - Réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- des moyens de polarisation (10, 11) des moyens supports de substrat (3), pour contrôler le bombardement de particules provenant du plasma,

- une source de gaz de gravure (9a), et des moyens de commande de débit de gravure (9b) pour piloter l'introduction de gaz de gravure dans la source de plasma (4),

- une source de gaz de passivation (9c), et des moyens de commande de débit de passivation (9d) pour piloter l'introduction de gaz de passivation dans la source de plasma (4),

- un dispositif de commande (9e), adapté pour piloter de façon alternée les moyens de commande de débit de gravure (9b) et les moyens de commande de débit de passivation (9d).

5 - Réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la chemise chauffante (14) est fixée à la paroi étanche (2) de la chambre de réaction (1) par un nombre limité de points de fixation (16a, 16b).

6 - Réacteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'espace intermédiaire entre la chemise chauffante (14) et la paroi étanche (2) de la chambre de réaction (1) communique avec l'espace central de la chambre de réaction (1) par un espace annulaire (14c) d'épaisseur réduite.

7 - Réacteur selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que les points de fixation (16a, 16b) ont une structure thermiquement isolante qui s'oppose au transfert d'énergie thermique par conduction depuis la chemise chauffante (14) vers la paroi étanche (2) de la chambre de réaction (1).

8 - Réacteur selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que la chemise chauffante (14) est suspendue à la paroi étanche (2) de la chambre de réaction (1) par trois excroissances à tête, dépassant en sous face de la paroi étanche (2), et engagées dans des lumières de type boutonnière à portion large de passage de tête et portion étroite de retenue de tête.

9 - Réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la chemise chauffante (14) est couplée thermiquement à des moyens d'échauffement tels que des résistances électriques (17) connectables à une source extérieure d'énergie électrique.

10 - Réacteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que les résistances électriques (17) comprennent des résistances électriques en couche mince et/ou des résistances électriques de type thermocoaxial.

11 - Réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la chemise chauffante (14) est sollicitée thermiquement par des moyens d'échauffement par rayonnement tels que des éléments infrarouges.

12 - Réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que la chemise chauffante (14) est associée à des moyens de régulation thermique (18-21) assurant la régulation de sa température dans une plage de valeurs de température appropriée.

13 - Réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que la chemise chauffante (14) comprend des



moyens d'échauffement (17) adaptés pour l'échauffer à une température supérieure à 150°C.

14 - Réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que la surface interne (14d) de la chemise chauffante (14) est structurée de façon à présenter un faible coefficient d'émission de rayonnement.

15 - Réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que, en aval des moyens supports de substrat (3), la chambre de réaction (1) est limitée par une grille (5) conductrice en contact thermique avec la chemise chauffante (14).

16 - Réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que les moyens supports de substrat (3) comprennent des électrodes électrostatiques (3a) d'attraction de substrat.

17 - Procédé de gravure de substrat (23) par un plasma (24) dans un réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce qu'il comprend une alternance d'étapes de gravure du substrat (23) par un plasma (24) de gaz de gravure fluoré et d'étapes de passivation des surfaces par un plasma (24) de gaz de passivation  $C_xF_y$ , et en ce que, au moins pendant les étapes de passivation, on échauffe la chemise chauffante (14) à une température supérieure à la température de condensation des polymères générés par le plasma (24).

18 - Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce qu'on échauffe la chemise chauffante (14) en continu pendant toutes les étapes du procédé.

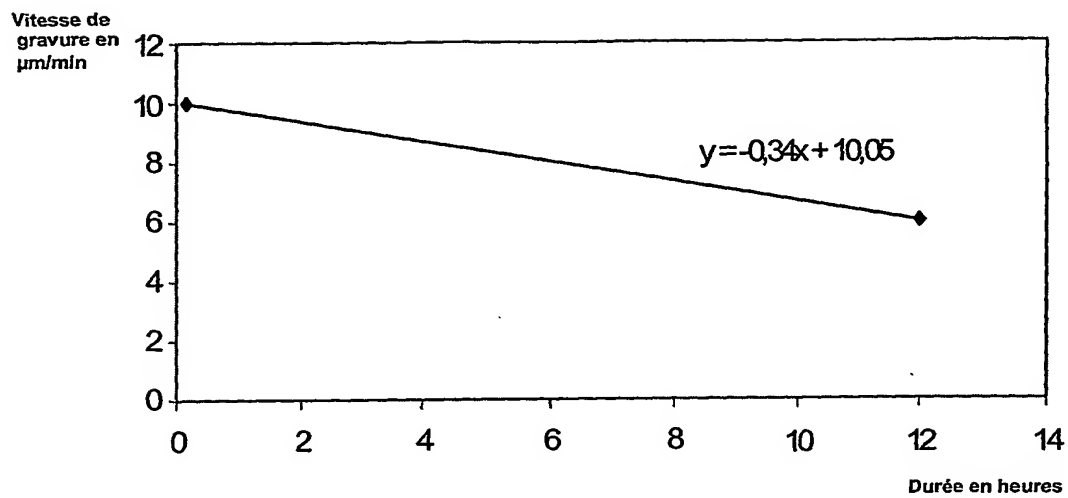


FIG. 1

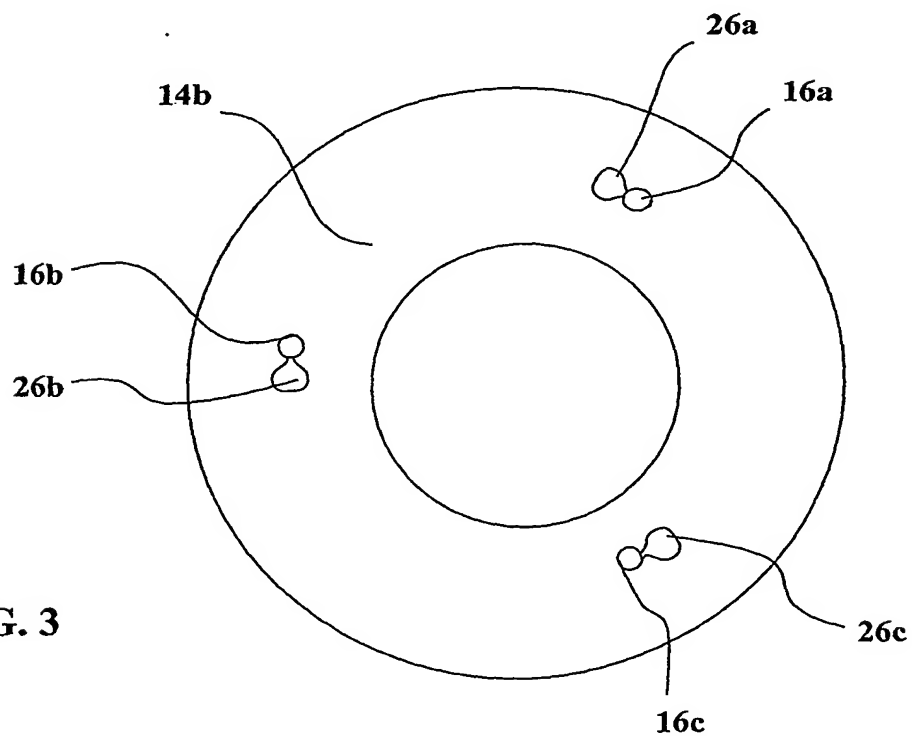


FIG. 3

